·医学循证·

膳食炎症指数与超重和肥胖及腹型肥胖关系的 Meta 分析

李纪新[1]，邱林杰[1]，任燕[1]，王文茹[2]，李美洁[1]，张晋[1*]

【摘要】 **背景** 膳食炎症指数（DII）作为定量评价膳食炎症潜力的新指标，已广泛应用于各种慢性病研究中，但 DII 与不同类型肥胖之间的相关性尚无统一定论。**目的** 系统评价 DII 与超重、肥胖及腹型肥胖的相关性，为不同类型肥胖的预防提供参考。**方法** 计算机检索中国知网、万方数据知识服务平台、维普网、中国生物医学文献数据库、PubMed、Embase、Cochrane Library、Web of Science 数据库中 DII 与超重、肥胖及腹型肥胖相关性的横断面研究，检索时限均从建库至 2023-01-10；运用美国卫生保健质量及研究机构（AHRQ）的偏倚风险评价表对纳入研究进行评价；运用 RevMan 5.4.1 进行 Meta 分析，计算汇总数据的 OR 及 95%*CI* 评估 DII 与超重、肥胖及腹型肥胖的相关性；根据性别、研究地域、调查方式、DII 成分数量、样本人群是否健康、诊断标准、DII 分组类型的差异进行亚组分析。**结果** 本研究共纳入 9 个国家的 20 项研究，研究对象 214808 例。Meta 分析结果显示，高水平的 DII 可能是超重〔*OR*=1.12，95%*CI*（1.03，1.22），*P*=0.005〕、肥胖〔*OR*=1.56，95%*CI*（1.34，1.82），*P*<0.000 01〕及腹型肥胖〔*OR*=1.42，95%*CI*（1.14，1.78），*P*=0.002〕的危险因素。针对原始研究的性别、研究地域、调查方式、DII 成分数量、样本人群是否健康、诊断标准、DII 分组类型的差异进行亚组分析，DII 与超重相关性的各亚组内未发现组间异质性存在（*P*>0.05）；DII 与肥胖相关性的各亚组中，北美洲人群〔*OR*=1.57，95%*CI*（1.27，1.83）〕相较于其他地域的人群肥胖所占比例更高，24 h 回忆的结果〔*OR*=1.83，95%*CI*（1.39，2.42）〕相较于其他调查方式的研究结果中肥胖所占比例更高，其他组间未发现明显异质性存在；DII 与腹型肥胖相关性的各亚组中，北美洲人群〔*OR*=1.87，95%*CI*（1.44，2.44）〕相较于其他地域的人群腹型肥胖所占比例更高，其他组间未发现明显异质性存在。本研究漏斗图分布具有良好的对称性，提示无明显发表偏倚。**结论** 高 DII 膳食可能为超重、肥胖及腹型肥胖的危险因素，该影响在北美洲人群及男性中更显著，增加抗炎膳食成分摄入对于超重、肥胖及腹型肥胖的防治具有重要意义。

【关键词】 超重；肥胖；腹型肥胖；膳食炎症指数；膳食记录；危险因素；Meta 分析

【中图分类号】 R 589.25 【文献标识码】 A DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2023.0316

【引用本文】 李纪新，邱林杰，任燕，等. 膳食炎症指数与超重和肥胖及腹型肥胖关系的 Meta 分析［J］. 中国全科医学，2023. DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2023.0316.［Epub ahead of print］.［www.chinagp.net］

LI J X，QIU L J，REN Y，et al. The correlation of dietary inflammatory index with overweight，obesity and abdominal obesity：a Meta-analysis［J］. Chinese General Practice，2023.［Epub ahead of print］.

The Correlation of Dietary Inflammatory Index with Overweight，Obesity and Abdominal Obesity：a Meta-analysis

LI Jixin[1]，*QIU Linjie*[1]，*REN Yan*[1]，*WANG Wenru*[2]，*LI Meijie*[1]，*ZHANG Jin*[1*]

1.*Preventive Treatment Center*，*Xiyuan Hospital*，*Chinese Academy of Traditional Chinese medicine*，*Beijing* 100091，*China*

2.*Department of Nephrology*，*Xiyuan Hospital*，*Chinese Academy of Traditional Chinese medicine*，*Beijing* 100091，*China*

[*]*Corresponding author*：*ZHANG Jin*，*Chief physician/Doctoral Supervisor*；*E-mail*：*jin_zhang2000@hotmail.com*

【Abstract】 **Background** Dietary inflammatory index （DII），as a new index for quantitative evaluation of dietary inflammatory potential，has been widely used in various chronic disease studies，but the correlation between DII and different types of obesity has not been uniformly established. **Objective** To systematically evaluate the correlation of DII with overweight，obesity and abdominal obesity to provide reference for the prevention of different types of obesity. **Methods** CNKI，Wanfang，VIP，CBM，PubMed，Embase，Cochrane Library and Web of Science were searched by computer for cross-sectional studies of the association of DII with overweight，obesity and abdominal obesity from inception to January 10，2023. Risk of Bias Rating Scale of Agency for Healthcare Research and Quality （AHRQ） was used to evaluate the included studies. Meta-analysis was performed using RevMan 5.4.1 to calculate OR and 95% CI of the pooled data to assess the association of DII with overweight，

基金项目：中国中医科学院科技创新工程（C12021A03005）；国家重点研发计划（2018YFC2000600）

1.100091 北京市，中国中医科学院西苑医院治未病中心 2.100091 北京市，中国中医科学院西苑医院肾病科

[*]通信作者：张晋，主任医师/博士生导师；E-mail：jin_zhang2000@hotmail.com

本文数字出版日期：2023-07-19

obesity and abdominal obesity. Subgroup analyses were performed based on differences in gender, study geography, survey method, number of DII components, whether the sample population was healthy, diagnostic criteria, and type of DII grouping. **Results** A total of 20 studies from 9 countries with 214 808 subjects were included. Meta-analysis results showed that high levels of DII may be a possible risk factor for overweight〔*OR*=1.12, 95%*CI*(1.03, 1.22), *P*=0.005〕, obesity〔*OR*=1.56, 95%*CI*(1.34, 1.82), *P*<0.000 01〕, abdominal obesity〔*OR*=1.42, 95%*CI*(1.14, 1.78), *P*=0.002〕. Subgroup analysis for differences in gender, study geography, survey method, number of DII components, whether the sample population was healthy, diagnostic criteria, and type of DII grouping in the original studies showed no significant between-group heterogeneity within each subgroup for the correlation between DII and overweight (*P*>0.05). Among the subgroups for the correlation between DII and obesity, the North American population〔*OR*=1.57, 95%*CI*(1.27, 1.83)〕had a higher proportion of obesity compared to populations from other geographic regions, and the results of the 24-h recall〔*OR*=1.83, 95%*CI*(1.39, 2.42)〕had a higher proportion of obesity compared to studies with other survey methods, and no significant heterogeneity was found among other groups. Among the subgroups for the correlation between DII and abdominal obesity, the North American population〔*OR*=1.87, 95%*CI*(1.44, 2.44)〕had a higher proportion of abdominal obesity compared to populations from other geographic regions, and no significant heterogeneity was found among other groups. The funnel plot distribution in this study had good symmetry, suggesting no significant publication bias. **Conclusion** DII diets may be a risk factor for overweight, obesity and abdominal obesity, and the association is more obvious in North American populations and in males. Increasing the intake of anti-inflammatory dietary components is important for the prevention and treatment of overweight, obesity and abdominal obesity.

【Key words】 Overweight; Obesity; Abdominal obesity; Dietary inflammatory index; Diet records; Risk factors; Meta-analysis

肥胖是 2 型糖尿病、脂肪肝、心肌梗死及高血压等诸多疾病的核心危险因素[1]，全球范围内近 50 年肥胖的患病率持续增加，患者总计超过 7 亿人次[2]，世界肥胖联合会及美国和加拿大医学会声明肥胖不仅仅是一种疾病，而是多种疾病的源头因素[3]，已成为亟待解决的全球性健康负担。肥胖通常被认定为一种全身的慢性低度炎症状态[4]，促炎饮食在肥胖的发生发展中起着关键作用，研究表明，地中海膳食模式可有效降低肥胖、糖尿病和心血管疾病的风险，而红肉等高饱和脂肪的摄入则反之[5]。

膳食炎症指数（dietary inflammatory index，DII）是由南卡罗莱纳大学 James 首先提出的一种定量评价膳食与潜在炎症之间关联性的指标[6]，并由 HARIHARAN 等[7]对其不断完善。DII 是基于 1 943 项研究、涵盖 11 个国家的膳食数据，总结膳食成分与白介素（IL）-1β等 6 种细胞炎性因子关联性而衍生的膳食评价工具，包括 36 项抗炎成分、9 项促炎成分，其计算公式为：Z 评分 =（A 日摄入量 -A 全球人均日摄入量）/A 全球人均日摄入量标准差 ×A 炎症效应指数，A 为膳食成分，将 Z 转换为百分位数后加倍并减“1”，实现“0”为中心的对称分布，再乘各膳食成分总炎症得分，求和可得个体的 DII[7]。DII 有助于从疾病的源头进行科学研究，为疾病的预防和诊治提供新方向。

目前 DII 已广泛应用于各种健康结果的大型流行病学研究中，但由于试验设计、地域、诊断标准等差异性，DII 与肥胖的相关性尚未得到一致性结论，有研究结果证明 DII 的高值可显著促进超重、肥胖及腹型肥胖的发生风险[8-10]，而部分研究结果表明 DII 与超重、肥胖及腹型肥胖间无显著相关性[11-13]，尚无统一结论产生。故本研究运用 Meta 分析方法，评价 DII 与超重、肥胖及腹型肥胖的相关性，并根据性别、诊断标准，地域等方面进行亚组分析，全面讨论异质性来源，为预防肥胖提供具有循证医学证据的饮食建议。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本研究严格按照 PRISMA 声明[14]规范报告，已通过 PROSPERO 注册，注册号：CRD42023393418。

纳入标准：（1）研究类型为横断面研究。（2）研究对象为所有人群。（3）暴露因素为分类的 DII 指标（最高类别 DII、最低类别 DII），主要采用食物频率问卷法（Food Frequency Questionnaire，FFQ）、半定量食物频率问卷法（Semi-Quantitative Food Frequency Questionnaire，SQFFQ）、24 h 膳食回顾法等调查方法进行统计。（4）结局指标：①超重，②肥胖，③腹型肥胖。（5）所纳入文献的研究对象符合：① WHO 超重/肥胖诊断标准[15]：25 kg/m^2 ≤ BMI<30 kg/m^2 定义为超重，BMI ≥ 30 kg/m^2 定义为肥胖；男性腰围≥ 102 cm，女性腰围≥ 88 cm 定义为腹型肥胖；②《中国 2 型糖尿病防治指南（2013 年版）》[16]：24 kg/m^2 ≤ BMI<28 kg/m^2 定义为超重，BMI ≥ 28 kg/m^2 定义为肥胖；男性腰围≥ 90 cm，女性腰围≥ 85 cm 定义为腹型肥胖；③ WHO 儿童超重肥胖诊断标准：BMI Z-score>+1 定义为超重，BMI Z-score>+2 定义为肥胖等有关超重、肥胖及腹型肥胖的诊断标准。

排除标准：（1）非横断面研究，如动物实验、综述等。（2）效应指标未报告或无法提取的研究。（3）重复发表的研究。（4）样本量<10 例的研究。

1.2 文献检索策略 双研究者双机位背对背独立检索PubMed、Embase、Cochrane Library、Web of Science、万方数据知识服务平台、维普网、中国生物医学文献数据库（CBM）和中国知网（CNKI）数据库的 DII 与超重、肥胖及腹型肥胖相关性的横断面研究，检索时限为建库至 2023-01-10。此外，追溯纳入文献的参考文献进行补充。采用主题词与自由词结合的方式检索，中文检索词包括："膳食炎症指数""膳食促炎指数""肥胖""超重""中心性肥胖""腹型肥胖"等；英文检索词包括："obesity""overweight""Abdominal Obesity""Central Obesity""Dietary inflammatory index""pro-inflammatory diet""DII"等。PubMed 检索策略见表 1。

表 1 Pubmed 检索策略

Table 1 PubMed search strategy

序号	检索式
#1	((((((((((((((((obesity[MeSH Terms]) OR (overweight[MeSH Terms])) OR (Abdominal Obesity[MeSH Terms])) OR (Obesities, Abdominal[Title/Abstract])) OR (Central Obesity[Title/Abstract])) OR (Central Obesities[Title/Abstract])) OR (Obesities, Central[Title/Abstract])) OR (Obesity, Central[Title/Abstract])) OR (Abdominal Obesities[Title/Abstract])) OR (Obesity, Visceral[Title/Abstract])) OR (Visceral Obesity[Title/Abstract])) OR (Obesities, Visceral[Title/Abstract])) OR (Visceral Obesities[Title/Abstract])) OR (obesity[Title/Abstract])) OR (overweight[Title/Abstract])) OR (Abdominal Obesity[Title/Abstract])
#2	(((((Dietary inflammatory index[Title/Abstract]) OR (Dietary inflammation potential[Title/Abstract])) OR (inflammatory potential of diet[Title/Abstract])) OR (antiinflammatory diet[Title/Abstract])) OR (pro-inflammatory diet[Title/Abstract])) OR (DII[Title/Abstract])
#3	#1 AND #2

1.3 文献筛选与资料提取 运用 Zotero 管理初步检索所得文献，去重后进一步阅读各文献摘要、全文，按照纳入与排除标准进行筛选，确定最终纳入文献，该过程由双研究者双机位背对背完成，并对筛选结果进行交叉比对及数据提取，若产生分歧则由研究团队共同商讨决定。各研究提取内容包括：（1）纳入研究的基本特征：作者、研究时间、调查方式等；（2）研究对象基线特征：样本量、健康状况、年龄、地域等；（3）偏倚风险评价关键要素；（4）结局指标的原始数据：DII 高值及低值组别总人数及其超重、肥胖及腹型肥胖人数。

1.4 纳入研究的偏倚风险评价 由两名研究者双机位背对背独立采用美国卫生保健质量及研究机构（The Agency for Healthcare Research and Quality，AHRQ）的偏倚风险评价表对纳入研究进行评价[17]，总分 11 分，高质量（8~11 分），中等质量（4~7 分），低质量（0~3 分）。

1.5 统计学方法 运用 RevMan 5.4.1 进行 Meta 分析，以比值比（oddsratio，*OR*）和 95%*CI* 作为所有研究的效应量；基于卡方检验和 I^2 统计量评价各研究间的异质性（检验水准 α=0.1），以 $I^2 \geqslant 50\%$ 或 $P<0.05$ 时为各研究间存在显著异质性，选择随机效应模型，反之选择固定效应模型，依据性别、地域、DII 成分数量等方面进行亚组分析全面讨论异质性来源；通过敏感性分析判定结果稳定性；通过绘制漏斗图直观判断发表偏倚。

2 结果

2.1 文献检索流程 初检共获得相关文献 1 898 篇，其中经逐层筛选，最终纳入研究 20 项[9-13，18-32]。文献筛选流程，见图 1。

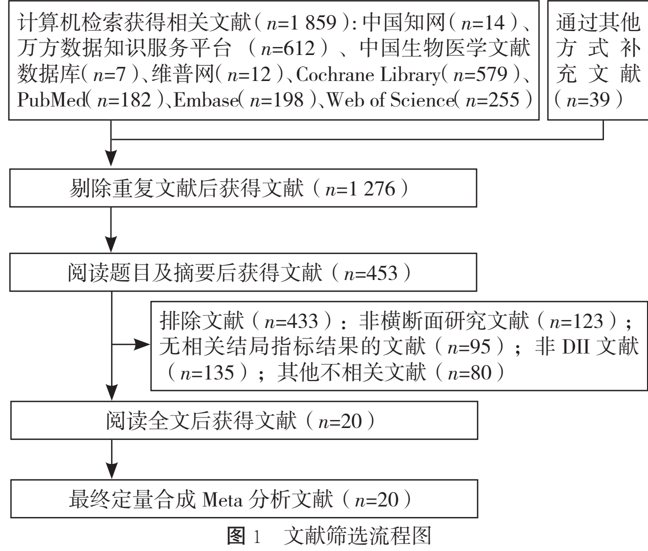


图 1 文献筛选流程图

Figure 1 Literature screening flow chart

2.2 纳入研究的基本特征 20 项研究涉及研究对象 214808 例，DII 计算均应用 Shivappa 更新后的评分系统[33]，研究均报道分类 DII，涉及五个大洲，其中亚洲（中国、韩国、伊朗）10 项[9-13，26，30-32，34]，北美洲（美国、墨西哥）6 项[21，23-25，27，29]，南美洲（巴西、哥伦比亚）2 项[20，22]，欧洲（西班牙）1 项[18]，大洋洲（澳大利亚）1 项[19]。AHRQ 评分结果显示，高质量研究 11 项[9-10，12，19，21，23-27，32]，中等质量研究 9 项[11，13，18，20，22，29-31，34]。基本特征及文献质量评价结果见表 2。

2.3 DII 与超重相关性分析

2.3.1 DII 与超重相关性 Meta 分析 共 12 项[9-10，13，18-19，21-24，28，30，32]研究纳入 DII 与超重相关性的研究，各研究间存在中度异质性（I^2=59%，P=0.005），故采用随机效应模型进行 Meta 分析，与最低类别 DII 的群体相比，处于最高类别 DII 群体中超重患者比例增加

表 2 纳入研究的基本特征及 AHRQ 文献质量评价

Table 2 The basic characteristics and AHRQ literature quality assessment of the included studies

第一作者	发表时间（年）	样本量（例）	性别（男/女）	年龄（岁）	调查方式	DII 成分数量（个）	国家	结局指标	AHRQ 评分（分）
MORA-URDA[18]	2022	365	190/175	9.60 ± 1.10	24 h 回忆	NA	西班牙	①②	7
HODGE[19]	2021	39185	23 394/15 791	54.80 ± 8.50	FFQ	121	澳大利亚	①②	8
DA[20]	2018	134	0/134	19.00~64.00	24 h 回忆	NA	巴西	③	6
ZHANG[21]	2021	4151	4151/0	47.03 ± 16.87	24 h 回忆	45	美国	①②	9
MARCELA[22]	2017	80	0/80	39.70 ± 6.90	24 h 回忆	28	哥伦比亚	①②	7
DENOVA-GUTIERREZ[23]	2018	1174	569/605	39.9 ± 0.48	SQFFQ	140	墨西哥	①②	9
TABUNG[24]	2016	122 788	0/122 788	63.5 ± 7.10	FFQ	122	美国	①②	8
JIA[25]	2022	5 656	2 937/2 719	15.49	24 h 回忆	26	美国	③	8
BAZYAR[26]	2021	249	0/249	23.88 ± 3.81	FFQ	147	伊朗	③	8
BAVI[12]	2022	320	171/149	56.68 ± 8.15	FFQ	168	伊朗	②③	8
KIM[11]	2018	9 291	3 682/5 609	41.30 ± 0.20	24 h 回忆	NA	韩国	③	6
GUINTER[27]	2019	6 016	6016/0	20.00~84.00	24 h 回忆	45	美国	②③	8
DEHGHAN[13]	2022	350	0/350	15.40 ± 1.10	24 h 回忆	45	伊朗	①	6
LI[28]	2022	1 936	736/1200	NA	FFQ	81	中国	①②	7
SHU[29]	2022	7 926	3 772/4 154	NA	24 h 回忆	45	美国	②	6
开比努尔[9]	2022	538	179/359	46.14 ± 12.51	FFQ	93	中国	①②③	9
王敏娟[10]	2020	468	181/287	68.70 ± 5.70	24 h 回忆	45	中国	①②	8
符文慧[30]	2020	2 241	1 098/1 143	NA	SQFFQ	127	中国	①②	7
穆凯丽[31]	2022	5 363	2 889/2 474	51.70 ± 10.10	FFQ	126	中国	③	7
罗涛[32]	2021	6 577	3 079/3 498	51.17 ± 9.93	SQFFQ	97	中国	①②③	8

注：①=超重，②=肥胖，③=腹型肥胖，AHRQ=美国卫生保健质量及研究机构，NA=数据缺失，DII=膳食炎症指数，FFQ=食物频率问卷，SQFFQ=半定量食物频率问卷。

〔OR=1.12，95%CI（1.03，1.22），P=0.005〕，见图 2。

Study or Subgroup	DII max Events	DII max Total	DII min Events	DII min Total	Weight	Odds Ratio M-H, Fixed, 95% CI
DEHGHAN	22	117	22	119	0.2%	1.02 [0.53, 1.97]
DENOVA-GUTIERREZ	85	234	90	235	0.7%	0.92 [0.63, 1.34]
HODGE	3371	7729	3296	7858	22.2%	1.07 [1.00, 1.14]
LI	197	484	203	483	1.5%	0.95 [0.73, 1.22]
MARCELA	41	77	8	13	0.1%	0.71 [0.21, 2.37]
MORA-URDA	46	176	48	176	0.4%	0.94 [0.59, 1.51]
TABUNG	8652	24497	8357	24557	65.1%	1.06 [1.02, 1.10]
ZHANG	590	1384	536	1384	3.7%	1.18 [1.01, 1.37]
开比努尔	50	136	33	133	0.3%	1.76 [1.04, 2.98]
王敏娟	59	117	32	117	0.2%	2.70 [1.57, 4.66]
符文慧	219	563	211	560	1.6%	1.05 [0.83, 1.34]
罗涛	728	1644	620	1644	4.2%	1.31 [1.14, 1.51]
Total (95% CI)		**37158**		**37279**	**100.0%**	**1.08 [1.05, 1.11]**
Total events	14060		13456			

Heterogeneity: Chi² = 26.70, df = 11 (P = 0.005); I² = 59%

Test for overall effect: Z = 4.90 (P < 0.00001)

0.02 0.1 1 10 50

图 2 DII 与超重相关性 Meta 分析森林图

Figure 2 Meta-analysis forest plot of the correlation between DII and overweight

2.3.2 DII 与超重相关性的亚组分析 针对原始研究的性别、研究地域、调查方式、DII 成分数量、样本人群是否健康、诊断标准、DII 分组类型的差异进行亚组分析，结果显示，各亚组内未发现组间异质性存在（P>0.05），见表 3，故上述因素均不是本研究的异质性来源。

2.3.3 DII 与超重相关性的敏感性分析 采用逐一去除单项研究的方法对 DII 与超重相关性 Meta 分析进行敏感性分析，并记录 P 值、异质性及 OR 的波动变化，结果显示均未发生方向性的变化，且 DII 与超重间存在正相关，提示研究结果较稳定。在剔除王敏娟等[10]研究时，异质性降低明显（I^2=36%，P=0.11），提示该研究可能是异质性重要来源。

2.4 DII 与肥胖相关性分析

2.4.1 DII 与肥胖相关性 Meta 分析 共 14 项[9-10, 12, 18-19, 21-24, 27-30, 32]研究纳入 DII 与肥胖相关性研究，各研究间存在异质性（I^2=91%，P<0.000 01），故采用随机效应模型进行 Meta 分析，与最低类别 DII 的群体相比，处于最高类别 DII 群体中肥胖患者比例增加〔OR=1.56，95%CI（1.34，1.82），P<0.000 01〕，见图 3。

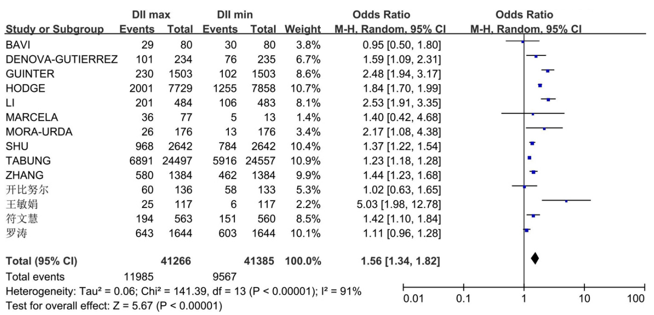


图 3 DII 与肥胖相关性 Meta 分析森林图

Figure 3 Meta-analysis forest plot of the correlation between DII and obesity

2.4.2 DII 与肥胖相关性的亚组分析 针对原始研究的

表3 DII 与超重相关性的亚组分析

Table 3 Subgroup analysis of the association between DII and overweight

亚组	研究数量	Meta 分析结果		异质性检验		效应模型	组间异质性（*P* 值）
		P 值	*OR*（95%*CI*）	*P* 值	I^2		
性别							0.19
男	2[9，21]	0.25	1.44（0.78，2.68）	0.13	57%	随机效应模型	
女	3[9，13，24]	0.002	1.06（1.02，1.10）	0.60	0	固定效应模型	
混合	8[9-10，18-19，23，30，32，34]	0.000 06	1.22（1.03，1.45）	<0.000 1	77%	随机效应模型	
研究地域							0.15
亚洲	6[9-10，13，30，32，34]	0.04	1.28（1.01，1.62）	0.005	70%	随机效应模型	
北美洲	3[21，23-24]	0.03	1.07（0.53，1.97）	0.31	14%	固定效应模型	
南美洲	1[22]	0.58	0.71（0.21，2.37）	NA	NA	NA	
大洋洲	1[19]	0.75	0.99（0.93，1.05）	NA	NA	NA	
欧洲	1[18]	0.81	0.94（0.59，1.51）	NA	NA	NA	
调查方式							0.59
FFQ	4[9，19，24，34]	0.02	1.06（1.01，1.12）	0.22	32%	固定效应模型	
SQFFQ	3[23，30，32]	0.23	1.14（0.92，1.40）	0.10	57%	随机效应模型	
24 h 回忆	5[10，13，21-22]	0.23	1.24（0.87，1.78）	0.03	62%	随机效应模型	
DII 成分数量							0.41
<80 个	4[10，13，21-22]	0.02	1.10（1.02，1.18）	0.03	56%	随机效应模型	
≥ 80 个	7[9，19，23-24，28，30，32]	0.23	1.34（0.83，2.16）	0.005	68%	随机效应模型	
调查人群是否健康							0.26
是	10[9-10，13，18-19，21，23，28，30，32]	0.05	1.15（1.00，1.33）	0.0003	65%	随机效应模型	
否	2[22，24]	0.003	1.10（1.02，1.10）	0.52	0	固定效应模型	
诊断标准							0.11
24 kg/m^2 ≤ BMI<28 kg/m^2	5[9-10，28，30，32]	0.04	1.32（1.02，1.70）	0.003	75%	随机效应模型	
25 kg/m^2 ≤ BMI<30 kg/m^2	5[19，21-24]	<0.000 1	1.06（1.03，1.10）	0.59	0	固定效应模型	
DII 分组类型							0.17
Q1 与 Q2	2[18，22]	0.84	0.96（0.62，1.48）	0.61	0	固定效应模型	
Q1 与 Q4	6[9-10，21，28，30，32]	0.01	1.26（1.05，1.51）	0.005	70%	随机效应模型	
Q1 与 Q5	3[19，23-24]	0.0003	1.06（1.03，1.09）	0.72	0	固定效应模型	

性别、研究地域、调查方式、DII 成分数量、样本人群是否健康、诊断标准、DII 分组类型的差异进行亚组分析，结果显示，研究地域、调查方式组间存在差异（*P*<0.05），见表 4。按不同研究地域进行的亚组分析中北美洲人群〔*OR*=1.57，95%*CI*（1.27，1.83）〕相较于其他地域的人群肥胖所占比例更高；按不同调查方式进行的亚组分析中 24 h 回忆的结果〔*OR*=1.83，95%*CI*（1.39，2.42）〕相较于其他调查方式的研究结果中肥胖所占比例更高。因此，研究地域、调查方式可能成为肥胖结局的异质性的主要来源。

2.4.3 DII 与肥胖相关性的敏感性分析 采用逐一去除单项研究的方法对 DII 与肥胖相关性 Meta 分析进行敏感性分析，并记录显著性 P 值、异质性及 OR 的波动变化，结果显示均未发生方向性的变化，且 DII 与肥胖间存在正相关，异质性差异不明显，提示研究结果较稳定。

2.5 DII 与腹型肥胖相关性分析

2.5.1 DII 与腹型肥胖相关性 Meta 分析 共 9 项[9，11-12，20，25-27，31-32]研究纳入 DII 与腹型肥胖相关性研究，各研究间存在异质性（I^2=86%，*P*<0.000 01），故采用随机效应模型进行 Meta 分析，与最低类别 DII 的群体相比，处于最高类别 DII 群体中腹型肥胖患者比例增加〔*OR*=1.42，95%*CI*（1.14，1.78），*P*=0.002〕，见图 4。

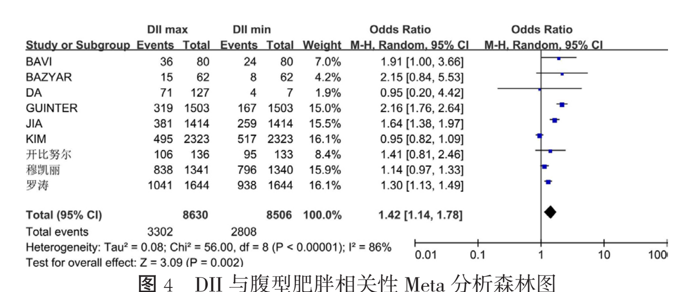


图4 DII 与腹型肥胖相关性 Meta 分析森林图

Figure 4 Meta-analysis forest plot of the correlation between DII and abdominal obesity

表 4 DII 与肥胖相关性的亚组分析

Table 4 Subgroup analysis of the association between DII and obesity

亚组	研究数量	Meta 分析结果		异质性检验		效应模型	*P* 值
		P 值	*OR*（95%*CI*）	*P* 值	I^2 值		
性别							0.02
男	3 [9，21]	0.01	1.79（1.13，2.85）	0.001	85%	随机效应模型	
女	2 [9，24]	<0.000 01	1.23（1.18，1.28）	0.40	0%	固定效应模型	
混合	10 [9-10，12，18-19，23，28-30，32]	<0.000 1	1.56（1.28，1.90）	<0.000 01	87%	随机效应模型	
研究地域							0.02
亚洲	6 [9-10，12，28，30，32]	0.03	1.12（1.05，1.40）	<0.000 01	86%	随机效应模型	
北美洲	5 [21，23-24，27，29]	<0.000 01	1.57（1.27，1.83）	<0.000 01	89%	随机效应模型	
南美洲	1 [22]	0.58	1.40（0.42，4.68）	NA	NA	NA	
大洋洲	1 [19]	<0.000 01	1.84（1.70，1.99）	NA	NA	NA	
欧洲	1 [18]	0.03	2.17（1.08，4.38）	NA	NA	NA	
调查方式							0.02
FFQ	5 [9，12，19，24，28]	0.007	1.50（1.11，2.01）	<0.000 01	96%	随机效应模型	
SQFFQ	3 [23，30，32]	0.23	1.14（0.92，1.40）	0.2	57%	随机效应模型	
24 h 回忆	6 [10，18，21-22，27，29]	<0.000 1	1.83（1.39，2.42）	<0.000 1	81%	随机效应模型	
DII 成分数量							0.22
<80 个	5 [10，21-22，27，29]	<0.000 1	1.80（1.34，2.42）	<0.000 1	84%	随机效应模型	
≥ 80 个	8 [9，12，19，23-24，28，30，32]	0.000 5	1.44（1.17，1.76）	<0.000 01	93%	随机效应模型	
调查人群是否健康							0.71
是	11 [9-10，18-19，21，23，27-30，32]	<0.000 01	1.55（1.31，1.83）	<0.000 01	86%	随机效应模型	
否	3 [12，22，24]	<0.000 01	1.23（1.18，1.28）	0.1	0%	固定效应模型	
诊断标准							0.67
BMI ≥ 28 kg/m^2	6 [9-10，27-28，30，32]	0.01	1.55（1.11，2.17）	<0.000 01	88%	随机效应模型	
BMI ≥ 30 kg/m^2	7 [12，19，21-24，29]	0.000 2	1.43（1.18，1.73）	<0.000 01	93%	随机效应模型	
DII 分组类型							0.23
Q1 与 Q2	2 [18，22]	0.67	0.91（0.59，1.41）	0.67	0	固定效应模型	
Q1 与 Q3	1 [29]	<0.000 01	1.37（1.22，1.54）	NA	NA	NA	
Q1 与 Q4	7 [9-10，21，27-28，30，32]	0.001	1.51（1.17，1.94）	<0.000 01	83%	随机效应模型	
Q1 与 Q5	3 [19，23-24]	0.01	1.52（1.10，2.12）	<0.000 01	97%	随机效应模型	

注：NA= 数据缺失。

2.5.2 DII 与腹型肥胖相关性的亚组分析 针对原始研究的性别、研究地域、调查方式、DII 成分数量、样本人群是否健康、诊断标准、DII 分组类型的差异进行亚组分析，结果显示，研究地域组间存在差异。按不同研究地域进行的亚组分析中北美洲人群〔*OR*=1.87，95%*CI*（1.44，2.44）〕相较于其他地域的人群腹型肥胖所占比例更高，见表 5；因此，研究地域可能成为腹型肥胖结局的异质性的主要来源。

2.5.3 DII 与腹型肥胖相关性的敏感性分析 采用逐一去除单项研究的方法对 DII 与腹型肥胖 Meta 分析进行敏感性分析，并记录显著性 P 值、异质性及 OR 的波动变化，结果显示均未发生方向性的变化，且 DII 与腹型肥胖间存在相关性，异质性差异不明显，提示研究结果较稳定。

2.7 发表偏倚 运用 RevMan 5.4.1 绘制漏斗图直观评估 DII 与超重、肥胖及腹型肥胖相关性研究的发表偏倚，结果显示，三种结局指标的研究大致位于 95%*CI* 内，漏斗图分布具有良好的对称性，提示无明显发表偏倚，见图 5。

3 讨论

较多研究证明，慢性低度炎症是代谢细胞响应过量营养和能量而产生的炎症状态[35]，其在肥胖相关代谢功能障碍的发病机制中有至关重要的作用[36]。除能量储存外，脂肪组织还是巨大的代谢和免疫活性器官，高脂肪摄入会促进脂肪细胞分泌 IL-1、IL-6、肿瘤坏因子 α（TNF-α）等炎性因子，引起氧化应激反应，致使全身慢性低度炎症[37]，长期暴露于高水平 IL-6 下，亦会增加胰岛素抵抗、代谢综合征的风险[38]。

膳食作为诸多营养素的主要来源，是全球慢性病负担的主要驱动因素，其作用机制的基础即为个体饮食成

表 5 DII 与腹型肥胖相关性的亚组分析
Table 5 Subgroup analysis of the association between DII and abdominal obesity

亚组	研究数量	Meta 分析结果		异质性检验		效应模型	组间异质性（P 值）
		P 值	OR（95%CI）	P 值	I^2		
性别							0.83
男	4 [9, 11-12, 27]	0.26	1.55（0.73，3.31）	<0.000 01	95%	随机效应模型	
女	4 [9, 11-12, 26]	0.14	1.42（0.89，2.28）	0.09	53%	随机效应模型	
混合	6 [9, 11-12, 25, 31-32]	0.02	1.28（1.05，1.56）	<0.000 1	82%	随机效应模型	
研究地域							0.02
亚洲	6 [9, 11-12, 26, 31-32]	0.04	1.20（1.01，1.44）	0.01	67%	随机效应模型	
北美洲	2 [25, 27]	<0.000 01	1.87（1.44，2.44）	0.05	74%	随机效应模型	
南美洲	1 [20]	0.95	0.95（0.20，4.42）	NA	NA	NA	
调查方式							0.91
FFQ	4 [9, 12, 26, 31]	0.04	1.34（1.02，1.76）	0.24	29%	固定效应模型	
SQFFQ	1 [32]	0.0002	1.30（1.13，1.49）	NA	NA	NA	
24 h 回忆	4 [11, 20, 25, 27]	0.13	1.44（0.90，2.31）	<0.000 01	94%	随机效应模型	
DII 成分数量						0.08	
<80 个	2 [25, 27]	<0.000 01	1.87（1.44，2.44）	0.05	74%	随机效应模型	
≥ 80 个	5 [9, 12, 26, 31-32]	0.0003	1.46（1.11，1.73）	0.2	32%	固定效应模型	
调查人群是否健康						0.54	
是	7 [9, 11, 25-27, 31-32]	0.005	1.40（1.11，1.78）	<0.000 01	89%	随机效应模型	
否	2 [12, 20]	0.08	1.72（0.94，3.13）	0.41	0	固定效应模型	
诊断标准							0.18
男：WC ≥ 90 cm 女：WC ≥ 85 cm	5 [9, 11, 27, 31-32]	0.05	1.32（1.00，1.74）	<0.000 01	91%	随机效应模型	
男：WC ≥ 102 cm 女：WC ≥ 88 cm	2 [12, 26]	0.01	1.98（1.16，3.39）	0.84	0	固定效应模型	
DII 分组类型							0.62
Q1 与 Q2	1 [20]	0.95	0.95（0.20，4.42）	NA	NA	NA	
Q1 与 Q4	7 [9, 11, 25-27, 31-32]	0.005	1.40（1.11，1.78）	<0.000 01	89%	随机效应模型	

注：WC= 腰围。

分的潜在促炎及抗炎特性[39]。DII 的开发为膳食营养的炎症风险提供了定量评价的标准，其基于全球 1 943 项研究，整合了单不饱和脂肪酸、烟酸、姜黄素等 45 种食物参数，可以同时捕捉个体摄入的多种膳食成分的综合炎症效应，克服了单个膳食成分或营养素难以总结的缺陷[40]。因此探究 DII 与不同肥胖之间的关联性，对于肥胖的防治具有重要意义。

本研究基于 DII 评分与超重、肥胖及腹型肥胖的相关性展开 Meta 分析，共纳入来自 9 个国家的 20 项研究，214 808 例研究对象，进一步证明膳食炎症与不同肥胖之间的关联性。结果显示，DII 评分和超重、肥胖、腹型肥胖之间均存在正相关，DII 评分最高类别人群较最低类别人群相比，超重〔OR=1.12，95%CI（1.03，1.22），P=0.005）〕、肥胖〔OR=1.56，95%CI（1.34，1.82），P<0.000 01）〕、腹型肥胖〔OR=1.42，95%CI（1.14，1.78），P=0.002）〕的患者比例均增加，其中肥胖患者比例增加 0.56 倍最为明显，有研究证明高炎症的膳食成分可以直接影响参与皮下脂肪堆积的肠道菌群，诱发肥胖[41]。按照研究地域进行亚组分析，以肥胖及腹型肥胖为结局指标的结果存在组间异质性，并提示北美

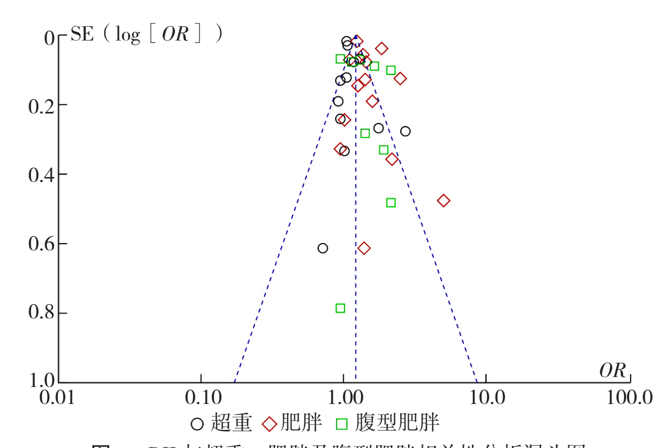


图 5 DII 与超重、肥胖及腹型肥胖相关性分析漏斗图
Figure 5 Funnel plot of correlation analysis of DII with overweight, obesity and abdominal obesity

洲人群相较于其他地域的人群肥胖及腹型肥胖的比例更高，可能受北美洲以美国为代表的高脂肪、高蛋白质、高热量的西方饮食模式及文化特异性影响有关[42]；按照性别进行亚组分析，DII 与超重、肥胖及腹型肥胖的相关性在男性中更为显著，有研究证明，性腺功能减退会增加男性肥胖、心血管疾病甚至死亡风险[43]，男性睾酮水平在 20 岁后每年下降约 30%，睾酮水平的下降是男性肥胖的关键危险因素[44]。基于本研究推断 DII 可以作为预测超重、肥胖及腹型肥胖的风险和评估人类健康状况的工具，在确保营养均衡的情况下，更多地摄入姜黄素、β-胡萝卜素、黄酮等抗炎膳食成分，降低饱和脂肪、反式脂肪、维生素 B12 等促炎膳食成分的摄取，对于超重、肥胖及腹型肥胖的防治具有重要意义。

本研究仍存在一定的局限性：（1）DII 的调查方式间存在的差异可能对结果造成偏倚，如采用自我管理的 FFQ 相较于由面试官进行访问可能存在部分饮食回避，而产生的社会期望偏倚[45]；此外，FFQ 与 24 h 回顾法相比，回忆时间跨度较长，可能产生回忆偏倚[46]。（2）为保证数据可靠性，本研究整合 DII 的分类原始数据，而未整合校正后 *OR* 值，因此可能产生年龄、收入等混杂因素影响。（3）因原始纳入文献中缺乏种族数据，故无法根据种族进行亚组分析，故存在一定异质性可能。

综上所述，本 Meta 分析显示，DII 与超重、肥胖、腹型肥胖的发生相关，高促炎饮食可能为超重、肥胖及腹型肥胖的危险因素，该相关性在北美洲人群及男性人群中尤为显著。在专业指导师的指导下，为超重、肥胖及腹型肥胖高危人群制定合理化的抗炎饮食策略显得尤为重要。本研究有助于公共卫生部门制定特定饮食模式来预防潜在的疾病风险因素。未来将应进一步明确膳食、炎性细胞因子、肥胖相关疾病间的内在联系，挖掘其生物学机制，为超重、肥胖及腹型肥胖疾病的预防和治疗提供思路。

作者贡献：李纪新进行研究方法的开发设计及实施、审查和编辑写作；邱林杰、任燕进行文献筛选及数据提取；王文茹、李美洁负责数据分析及图表的可视化展示；张晋进行研究规划与指导、文章质量把控审校，并对文章负责。

本文无利益冲突。

参考文献

[1] POWELL-WILEY T M，POIRIER P，BURKE L E，et al. Obesity and cardiovascular disease： a scientific statement from the American heart association [J]. Circulation，2021，143（21）：e984-e1010. DOI： 10.1161/CIR.0000000000000973.

[2] 2015 Obesity Collaborators G B D，AFSHIN A，FOROUZANFAR M H，et al. Health effects of overweight and obesity in 195 countries over 25 years [J]. N Engl J Med，2017，377（1）： 13-27. DOI： 10.1056/NEJMoa1614362.

[3] BLÜHER M. Obesity： global epidemiology and pathogenesis [J]. Nat Rev Endocrinol，2019，15（5）： 288-298. DOI： 10.1038/s41574-019-0176-8.

[4] WIEBE N，STENVINKEL P，TONELLI M. Associations of chronic inflammation，insulin resistance，and severe obesity with mortality，myocardial infarction，cancer，and chronic pulmonary disease [J]. JAMA Netw Open，2019，2（8）： e1910456. DOI： 10.1001/jamanetworkopen.2019.10456.

[5] URPI-SARDA M，CASAS R，CHIVA-BLANCH G，et al. The Mediterranean diet pattern and its main components are associated with lower plasma concentrations of tumor necrosis factor receptor 60 in patients at high risk for cardiovascular disease [J]. J Nutr，2012，142（6）： 1019-1025. DOI： 10.3945/jn.111.148726.

[6] CAVICCHIA P P，STECK S E，HURLEY T G，et al. A new dietary inflammatory index predicts interval changes in serum high-sensitivity C-reactive protein [J]. J Nutr，2009，139（12）： 2365-2372. DOI： 10.3945/jn.109.114025.

[7] HARIHARAN R，ODJIDJA E N，SCOTT D，et al. The dietary inflammatory index，obesity，type 2 diabetes，and cardiovascular risk factors and diseases [J]. Obes Rev，2022，23（1）： e13349. DOI： 10.1111/obr.13349.

[8] ARIYA M，SHAHRAKI H R，FARJAM M，et al. Dietary inflammatory index and metabolic syndrome in Iranian population（Fasa Persian Cohort Study）[J]. Sci Rep，2020，10（1）： 16762. DOI： 10.1038/s41598-020-73844-0.

[9] 开比努尔·再比布力，姑丽切克然·艾斯克，迪娜·木合亚提，等. 538 名维吾尔族居民膳食炎症指数与不同类型肥胖的关联研究 [J]. 中国食物与营养，2023，29（4）： 80-84. DOI： 10.19870/j.cnki.11-3716/ts.20221219.001.

[10] 王敏娟，王敏雯，郭艳，等. 膳食炎症指数与老年人非酒精性脂肪性肝病关系研究 [J]. 陕西医学杂志，2020，49（12）： 1589-1592. DOI： 10.3969/j.issn.1000-7377.2020.12.013.

[11] KIM H Y，LEE J，KIM J. Association between dietary inflammatory index and metabolic syndrome in the general Korean population [J]. Nutrients，2018，10（5）： 648. DOI： 10.3390/nu10050648.

[12] BAVI BEHBAHANI H，BAZYAR H，AGHAMOHAMMADI V，et al. The Dietary Inflammatory Index is positively associated with cardiometabolic risk parameters in atherosclerosis patients [J]. Nutr Res，2022，107： 26-36. DOI： 10.1016/j.nutres.2022.08.003.

[13] DEHGHAN P，NEJATI M，VAHID F，et al. The association between dietary inflammatory index，dietary antioxidant index，and mental health in adolescent girls： an analytical study [J]. BMC Public Health，2022，22（1）： 1513. DOI： 10.1186/s12889-022-13879-2.

[14] PAGE M J，MCKENZIE J E，BOSSUYT P M，et al. The PRISMA 2020 statement： an updated guideline for reporting systematic reviews [J]. BMJ，2021，372： n71. DOI： 10.1136/bmj.n71.

[15] Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation [J]. World Health Organ Tech Rep Ser, 2000, 894: i-xii, 1-253.

[16] 中华医学会糖尿病学分会. 中国 2 型糖尿病防治指南（2013 年版）[J]. 中国糖尿病杂志, 2014, 22（8）: 2-42.

[17] 曾宪涛, 刘慧, 陈曦, 等. Meta 分析系列之四: 观察性研究的质量评价工具 [J]. 中国循证心血管医学杂志, 2012, 4（4）: 297-299. DOI: 10.3969/j.1674-4055.2012.04.004.

[18] MORA-URDA A I, MARTÍN-ALMENA F J, MONTERO LÓPEZ M D P. Relationship between the dietary inflammatory index and cardiovascular health among children [J]. Int J Environ Res Public Health, 2022, 19（23）: 15706. DOI: 10.3390/ijerph192315706.

[19] HODGE A M, KARIM M N, HÉBERT J R, et al. Association between diet quality indices and incidence of type 2 diabetes in the Melbourne collaborative cohort study[J]. Nutrients, 2021, 13(11): 4162. DOI: 10.3390/nu13114162.

[20] DA COSTA SILVA B Y, DE CARVALHO SAMPAIO H A, SHIVAPPA N, et al. Interactions between dietary inflammatory index, nutritional state and Multiple Sclerosis clinical condition [J]. Clin Nutr ESPEN, 2018, 26: 35-41. DOI: 10.1016/j.clnesp.2018.04.018.

[21] ZHANG C C, BIAN H Y, CHEN Z Y, et al. The association between dietary inflammatory index and sex hormones among men in the United States [J]. J Urol, 2021, 206（1）: 97-103. DOI: 10.1097/JU.0000000000001703.

[22] CAMARGO-RAMOS C M, CORREA-BAUTISTA J E, CORREA-RODRÍGUEZ M, et al. Dietary inflammatory index and cardiometabolic risk parameters in overweight and sedentary subjects [J]. Int J Environ Res Public Health, 2017, 14（10）: 1104. DOI: 10.3390/ijerph14101104.

[23] DENOVA-GUTIÉRREZ E, MUÑOZ-AGUIRRE P, SHIVAPPA N, et al. Dietary inflammatory index and type 2 diabetes mellitus in adults: the diabetes mellitus survey of Mexico city [J]. Nutrients, 2018, 10（4）: 385. DOI: 10.3390/nu10040385.

[24] TABUNG F K, STECK S E, LIESE A D, et al. Association between dietary inflammatory potential and breast cancer incidence and death: results from the Women's Health Initiative [J]. Br J Cancer, 2016, 114（11）: 1277-1285. DOI: 10.1038/bjc.2016.98.

[25] JIA G H, WU C C, SU C H. Dietary inflammatory index and metabolic syndrome in US children and adolescents: evidence from NHANES 2001-2018 [J]. Nutr Metab, 2022, 19（1）: 39. DOI: 10.1186/s12986-022-00673-5.

[26] BAZYAR H, ZARE JAVID A, BAVI BEHBAHANI H, et al. The association between dietary inflammatory index with sleep quality and obesity amongst Iranian female students: a cross-sectional study [J]. Int J Clin Pract, 2021, 75（5）: e14061. DOI: 10.1111/ijcp.14061.

[27] GUINTER M A, MERCHANT A T, TABUNG F K, et al. Adiposity does not modify the effect of the dietary inflammatory potential on type 2 diabetes incidence among a prospective cohort of men [J]. J Nutr Intermed Metab, 2019, 16: 100095. DOI: 10.1016/j.jnim.2019.100095.

[28] LI R Q, ZHAN W Q, HUANG X, et al. Association of dietary inflammatory index and metabolic syndrome in the elderly over 55 years in Northern China [J]. Br J Nutr, 2022, 128（6）: 1082-1089. DOI: 10.1017/S0007114521004207.

[29] SHU Y L, WU X C, WANG J T, et al. Associations of dietary inflammatory index with prediabetes and insulin resistance [J]. Front Endocrinol, 2022, 13: 820932. DOI: 10.3389/fendo.2022.820932.

[30] 符文慧, 罗涛, 裴华莲, 等. 新疆伊犁州 35~74 岁人群膳食炎症指数与超重/肥胖的关系 [J]. 中华疾病控制杂志, 2020, 24（11）: 1292-1296. DOI: 10.16462/j.cnki.zhjbkz.2020.11.010.

[31] 穆凯丽, 阿丽亚·艾木都拉, 罗涛, 等. 新疆伊犁农村居民膳食炎症指数与代谢综合征及其组分间的关系研究 [J]. 中国慢性病预防与控制, 2022, 30（11）: 811-815. DOI: 10.16386/j.cjpccd.issn.1004-6194.2022.11.003.

[32] 罗涛. 新疆伊犁农村居民膳食炎症指数与心血管代谢性疾病关系研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆医科大学, 2021.

[33] SHIVAPPA N, STECK S E, HURLEY T G, et al. Designing and developing a literature-derived, population-based dietary inflammatory index [J]. Public Health Nutr, 2014, 17（8）: 1689-1696. DOI: 10.1017/S1368980013002115.

[34] LI R Q, ZHAN W Q, HUANG X, et al. Association of Dietary Inflammatory Index（DII）and depression in the elderly over 55 years in Northern China: analysis of data from a multicentre, cohort study [J]. BMJ Open, 2022, 12（4）: e056019. DOI: 10.1136/bmjopen-2021-056019.

[35] HOTAMISLIGIL G S. Inflammation, metaflammation and immunometabolic disorders [J]. Nature, 2017, 542（7640）: 177-185. DOI: 10.1038/nature21363.

[36] OUCHI N, PARKER J L, LUGUS J J, et al. Adipokines in inflammation and metabolic disease [J]. Nat Rev Immunol, 2011, 11（2）: 85-97. DOI: 10.1038/nri2921.

[37] DUAN Y H, ZENG L M, ZHENG C B, et al. Inflammatory links between high fat diets and diseases [J]. Front Immunol, 2018, 9: 2649. DOI: 10.3389/fimmu.2018.02649.

[38] WANG Y B, SHIVAPPA N, HÉBERT J R, et al. Association between dietary inflammatory index, dietary patterns, plant-based dietary index and the risk of obesity [J]. Nutrients, 2021, 13（5）: 1536. DOI: 10.3390/nu13051536.

[39] COLLABORATORS G 2 D. Health effects of dietary risks in 195 countries, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017 [J]. Lancet, 2019, 393（10184）: 1958-1972. DOI: 10.1016/S0140-6736(19)30041-8.

[40] HÉBERT J R，SHIVAPPA N，WIRTH M D，et al. Perspective：the dietary inflammatory index （DII）-lessons learned，improvements made，and future directions［J］. Adv Nutr，2019-10（2）：185-195. DOI：10.1093/advances/nmy071.

[41] HARADA N，HANAOKA R，HORIUCHI H，et al. Castration influences intestinal microflora and induces abdominal obesity in high-fat diet-fed mice［J］. Sci Rep，2016，6：23001. DOI：10.1038/srep23001.

[42] SHIVAPPA N，HÉBERT J R，RIETZSCHEL E R，et al. Associations between dietary inflammatory index and inflammatory markers in the Asklepios Study［J］. Br J Nutr，2015，113（4）：665-671. DOI：10.1017/S000711451400395X.

[43] NAVARRO G，ALLARD C，XU W W，et al. The role of androgens in metabolism，obesity，and diabetes in males and females［J］. Obesity，2015，23（4）：713-719. DOI：10.1002/oby.21033.

[44] KAUFMAN J M，VERMEULEN A. The decline of androgen levels in elderly men and its clinical and therapeutic implications［J］. Endocr Rev，2005，26（6）：833-876. DOI：10.1210/er.2004-0013.

[45] MILLER T M，ABDEL-MAKSOUD M F，CRANE L A，et al. Effects of social approval bias on self-reported fruit and vegetable consumption：a randomized controlled trial［J］. Nutr J，2008，7：18. DOI：10.1186/1475-2891-7-18.

[46] FREEDMAN L S，CARROLL R J，WAX Y. Estimating the relation between dietary intake obtained from a food frequency questionnaire and true average intake［J］. Am J Epidemiol，1991，134（3）：310-320. DOI：10.1093/oxfordjournals.aje.a116086.

（收稿日期：2023-05-23；修回日期：2023-07-10）

（本文编辑：毛亚敏）